Aula 02

segunda-feira, 16 de agosto de 2021 18:29

Elementos passivos em corrente alternada

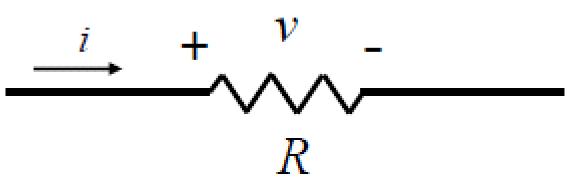
Prof. Dr. Marcos de Oliveira Junior

Resistor

Lei de Ohm – Proporcionalidade entre tensão e corrente num material

$$v = R \cdot i$$

Resistência e convenção de polaridade



$$V = V_0 \cos(\omega t) = RI$$

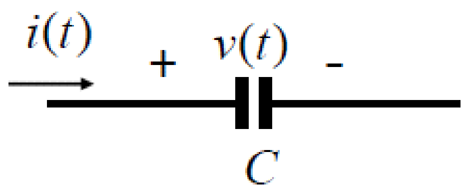
$$P = VI = RI^2 = \frac{V^2}{R}$$

Capacitor

Proporcionalidade entre tensão e carga elétrica

$$q = C \cdot v$$

Capacitância e convenção de polaridade



Capacitância é a constante de proporcionalidade entre a corrente e taxa de variação da tensão

$$i(t) = C \cdot \frac{dv(t)}{dt}$$

$$V(t) = V_0 \cos(\omega t) \Rightarrow I(t) = C \omega \, \text{SEN}(\omega t)$$

$$I(t) = \omega C \cos(\omega t - \pi/2)$$

$$E_c = \int_0^t P \, dt = \int_0^t V(t) I(t) \, dt$$

$$E_c = \int_0^t C V(t) \frac{dV}{dt} \, dt$$

$$E_c = \int_{V(t=0)}^{V} C \, V(t) \, dV$$

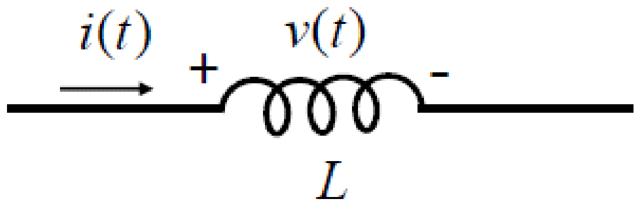
$$E_c = \frac{1}{2} C V^2$$

Indutor

Proporcionalidade entre corrente elétrica e fluxo de campo magnético

$$\Theta = L \cdot i$$

Indutância e convenção de polaridade



Indutância é a constante de proporcionalidade entre a tensão e taxa de variação da corrente elétrica

$$v(t) = L \cdot \frac{di(t)}{dt}$$

$$V = V_0 \cos \omega t \Rightarrow I(t) = \frac{V_0}{L\omega} \operatorname{sen}(\omega t)$$

$$I(t) = \frac{V_0}{L\omega} \cos(\omega t + \pi/2)$$

$$E_L = \int_0^t P\, dt = \int_0^t I \cdot L \frac{dI}{dt}\, dt$$

$$E_L = \int_{I(t=0)}^{I} L \cdot I\, dI$$

$$\boxed{E_L = \frac{1}{2} L I^2}$$

Notação complexa, impedância e reatância

$$V(t) = V_0 e^{i\omega t}$$

Resistor

$$V(t) = R I(t)$$

$$I(t) = I_0 e^{i\omega t}$$

$$I_0 = \frac{V_0}{R}$$

$$V_0 e^{i\omega t + 0^\circ} = R I_0 e^{i\omega t + 0^\circ}$$

$$\boxed{\vec{V} = R \vec{I}}$$

Capacitor

$$I(t) = C \frac{dV}{dt}$$

$$I_0 e^{i\omega t} = i\omega C V_0 e^{i\omega t}$$

$$I_0 = i\omega C V_0$$

$$\vec{V} = \frac{1}{i\omega C} \vec{I}$$

$$\boxed{\vec{V} = -\frac{i}{\omega C} \vec{I}}$$

Indutor

$$V_0 e^{i\omega t} = L \frac{d}{dt}\left(I_0 e^{i\omega t}\right)$$

$$V_0 e^{i\omega t} = i\omega L I_0 e^{i\omega t}$$

$$\boxed{V = i\omega L I}$$

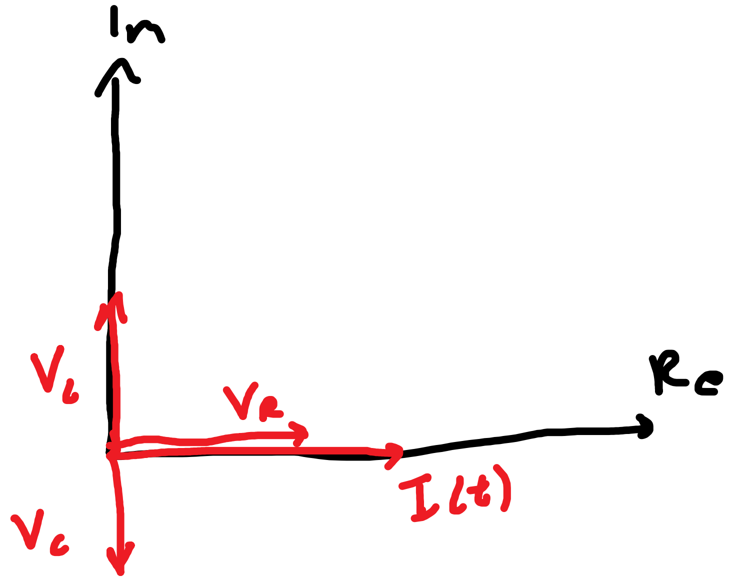
$$V = Z I, \quad Z \in \mathbb{C}$$

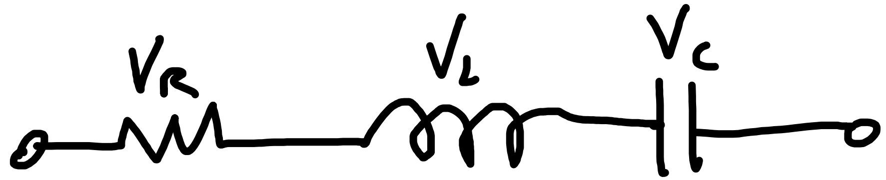
$$Z_R = R$$

$$Z_C = -\frac{i}{\omega C} \Rightarrow X_C = -\frac{1}{\omega C}$$

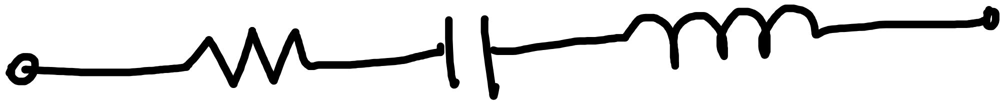
$$Z_L = i\omega L \Rightarrow X_L = \omega L$$

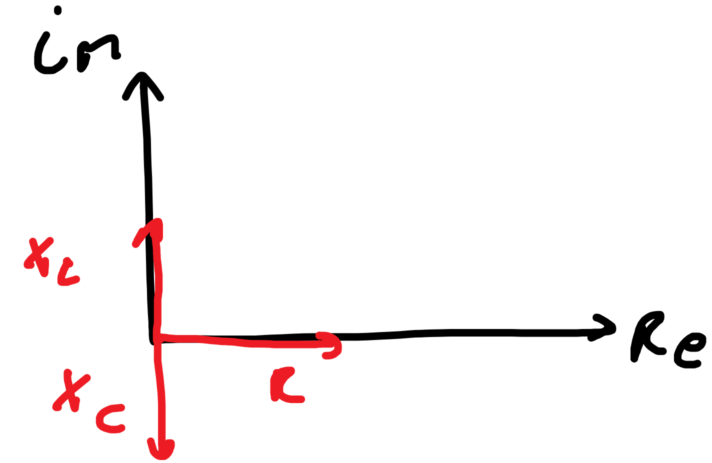
Diagrama complexo





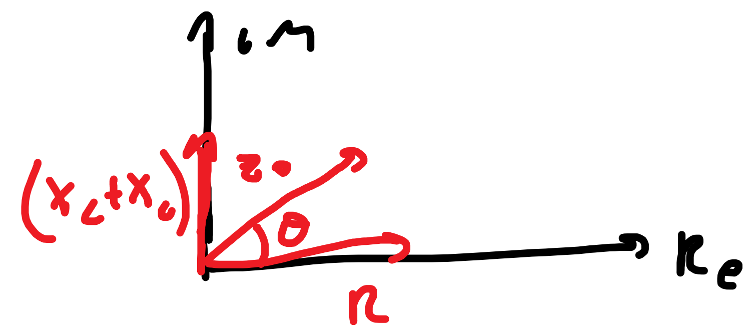
Circuito RLC série





$$V_0 = R I_0 + \left(-\frac{j}{\omega C} I_0\right) + j\omega L I_0$$

$$V_0 = I_0 \left(R + j\omega L - j\omega C\right)$$



$$Z = \frac{V}{I} = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$$

$$Z = Z_0 e^{i\theta}$$

$$Z_0 = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

$$\theta = tg^{-1}\left(\frac{\left(\omega L - 1/\omega C\right)}{R}\right)$$

Potência

$$P = \langle V(t) I(t) \rangle$$

$$V = V_0 \cos \omega t$$

$$I = I_0 \cos(\omega t - \theta)$$

$$P = V_0 I_0 \int_{\omega t = 0}^{\omega t = 2\pi} \cos \omega t \cos(\omega t - \theta) \frac{d(\omega t)}{2\pi}$$

$$P = \frac{V_0 I_0}{2\pi} \int_0^{2\pi} \cos \omega t \left(\cos \omega t \cos \theta + \operatorname{sen} \omega t \operatorname{sen} \theta \right) d(\omega t)$$

$$P = \frac{1}{2} V_0 I_0 \cos \theta$$

Potência complexa

$V = V_0 e^{i\omega t}$

$I = I_0 e^{i\omega t - \theta}$

$\frac{1}{2}(VI^* + V^*I) = V_0 I_0 \cos\theta$

$P = \frac{1}{4}(VI^* + V^*I)$

$\frac{VI^* + V^*I}{2} = Re(VI^*)$

$P = \frac{1}{2} Re(VI^*) \Rightarrow \frac{1}{2} Re(VI^*)$

$\frac{1}{2} Re(VI^*)$

$V = ZI$
$\hookrightarrow R + iX$

$\frac{1}{2} Re(Z.I\,I^*) = \frac{1}{2} Re(Z) I^2$

$P = \frac{1}{2} R I^2$

$S = \frac{1}{2} V I^*$

$P_{ATIVA} = Re\{S\}$

$P_{ARM} = Im\{S\}$

Potencia armazenada

CAPACITOR

$$Z = -\frac{j}{\omega C} \Rightarrow S = \frac{1}{2} V I^*$$

$$S = \frac{1}{2}\left(-\frac{j}{\omega C} I I^*\right) = -j\left[\frac{1}{2}\frac{I^2}{\omega C}\right]$$

$$S = j\,\frac{1}{2} X_c I^2$$

$$P_{ARM} = \mathrm{Im}\{S\} = \frac{1}{2} X_c I^2 = \frac{1}{2}\frac{V^2}{X_c}$$

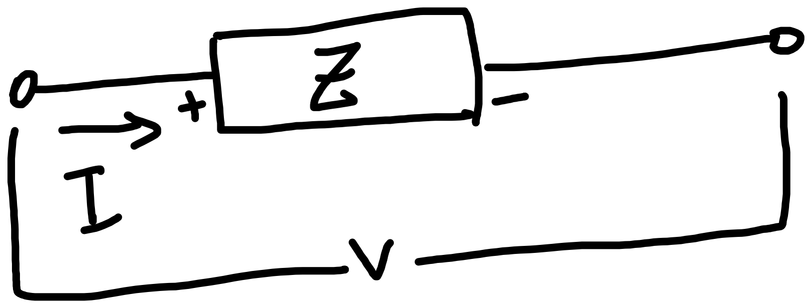
INDUTOR

$$Z = j\omega L$$

$$S = \frac{1}{2}\left(j\omega L \cdot I I^*\right) = \frac{1}{2} X_L I^2$$

$$= \frac{1}{2}\frac{V^2}{X_L}$$

Resumindo



$$V = Z I$$

↳ $Z = R + iX$

X → REATÂNCIA

R → RESISTÊNCIA

$$P_{ATIVA} = \frac{1}{2} Re\{V I^*\}$$

$$P_{ARM} = \frac{1}{2} Im\{V I^*\}$$

Fator de qualidade

Definição de fator de qualidade - Q

$$Q = 2\pi \frac{\text{Máxima energia acumulada}}{\text{Energia dissipada por ciclo}} \Rightarrow P_{ATIVA} \cdot \frac{2\pi}{\omega}$$

$$X_L = \omega L$$

$$E_L = \frac{Li^2}{2} = \frac{|X_L| I^2}{2\omega}$$

$$E_c = \frac{Cv^2}{2} = \frac{V^2}{2|X_c|\omega}$$

$$|X_c| = \frac{1}{\omega C}$$

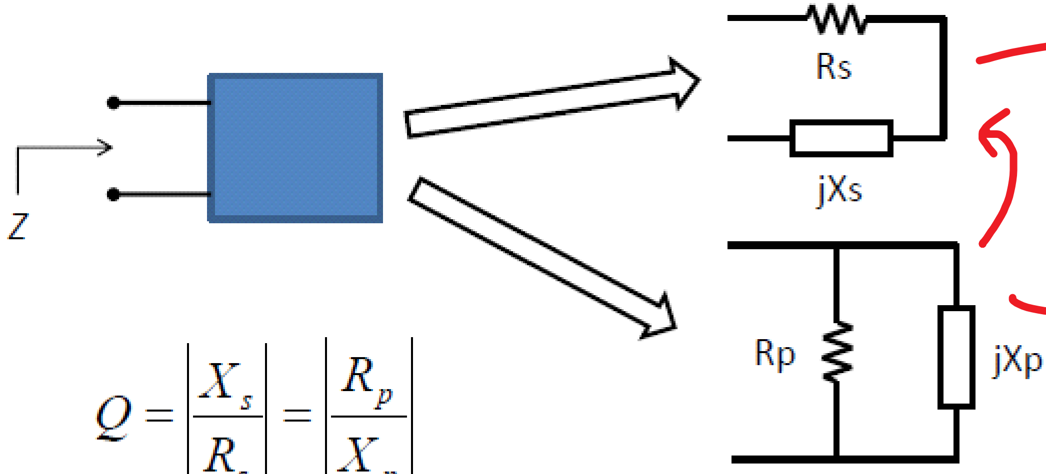
$$Q = 2\pi \frac{\frac{X_L I^2}{2\omega}}{\frac{2\pi}{\omega} \frac{1}{2} R I^2}$$

$$Q = \frac{|X_s|}{R_s}$$

PARALELO

$$Q = \frac{\frac{1}{2}\frac{V^2}{X}}{\frac{1}{2}\frac{V^2}{R}} \Rightarrow Q = \frac{R_P}{X_P}$$

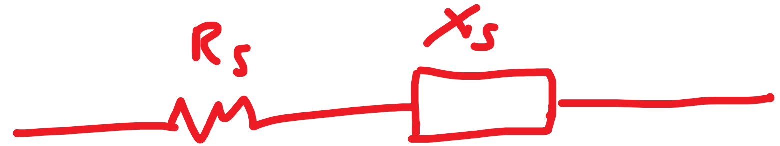
Equivalente série-paralelo



$$Q = \left|\frac{X_s}{R_s}\right| = \left|\frac{R_p}{X_p}\right|$$

$$R_p = R_s\left(1 + Q^2\right)$$

$$X_p = X_s\left(1 + \frac{1}{Q^2}\right)$$



$$Z_{eq} = R_s + i X_s$$

$$Z_{eq} = \frac{i R_p X_p}{R_p + i X_p} \cdot \frac{(R_p - i X_p)}{(R_p - i X_p)}$$

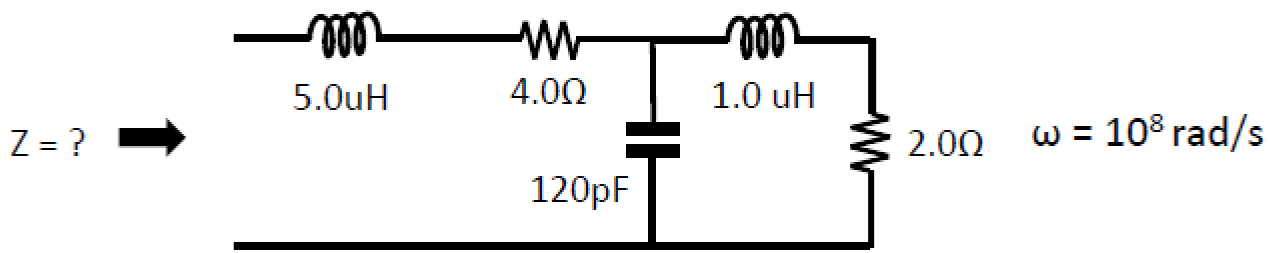
$$R_s + i X_s = \frac{i R_p^2 X_p + X_p^2 R_p}{R_p^2 + X_p^2}$$

$$R_s = \frac{R_p X_p^2}{R_p^2 + X_p^2}$$

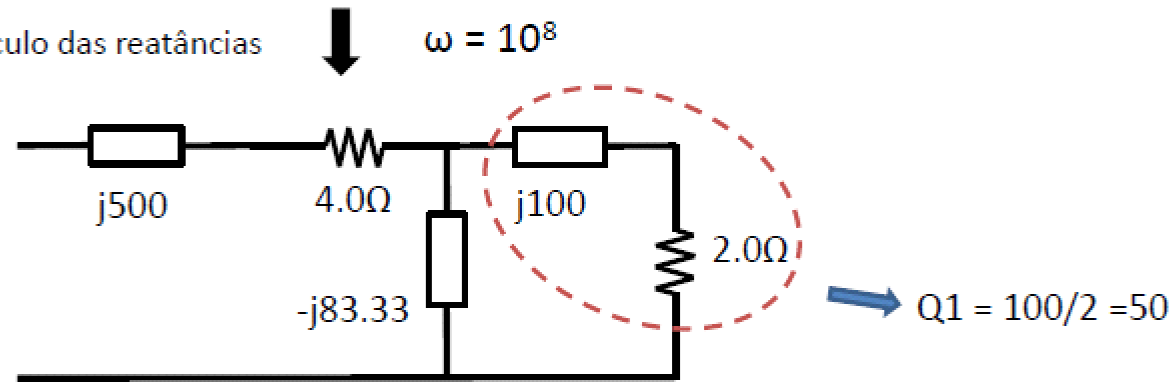
$$X_s = \frac{R_p^2 X_p}{R_p^2 + X_p^2}$$

Indutância equivalente, Exemplo

Dado o circuito

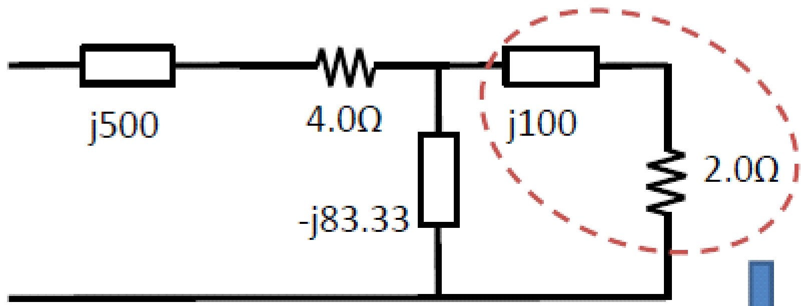


Passo 1 – Cálculo das reatâncias



Exemplo

Passo 2 – Primeira transformação



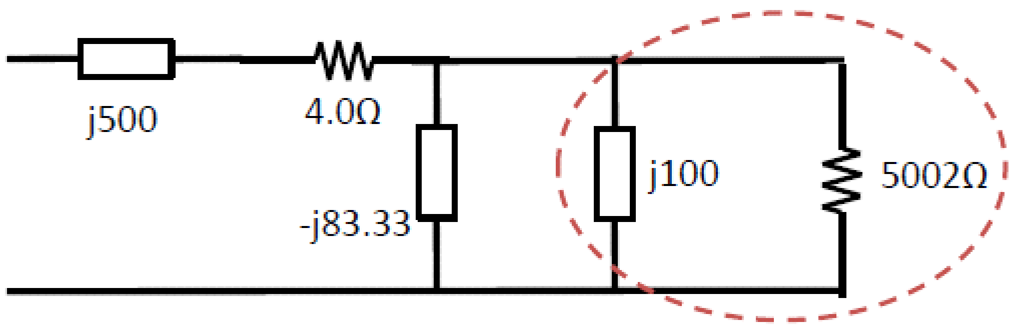
Q1 =50

Rs =2.0

Xs =100.0

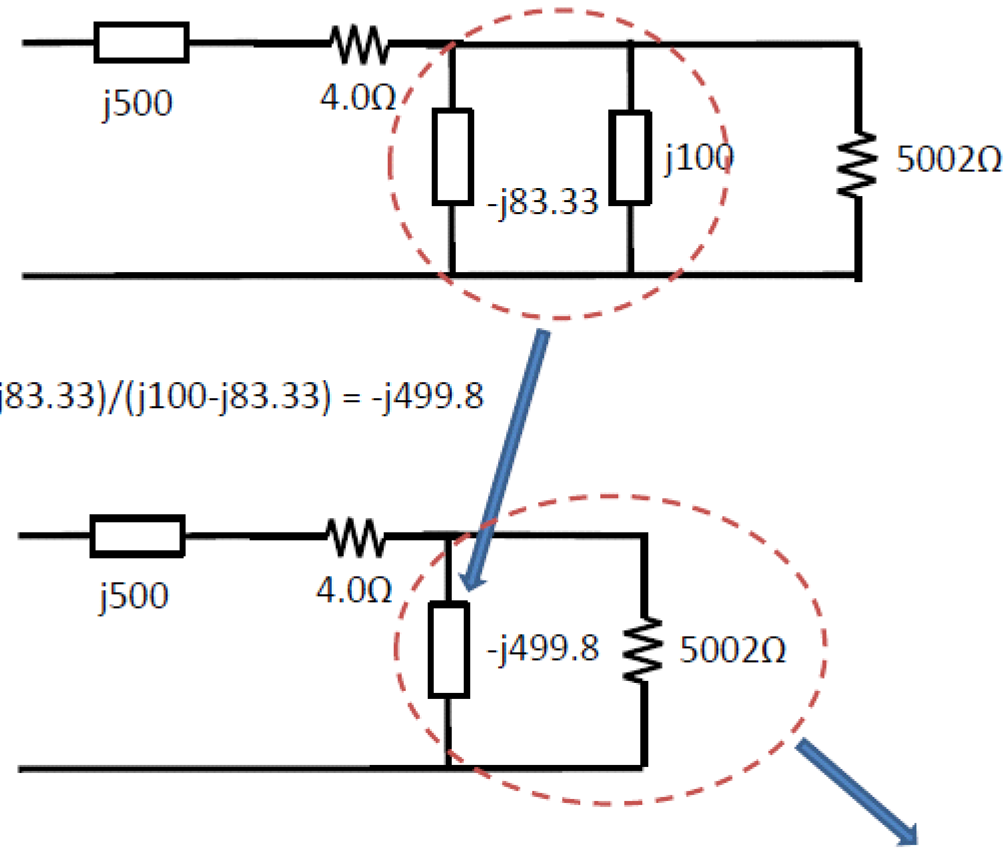
$Xp=Xs(1+1/Q^2)$ $Rp=Rs(1+Q^2)$

Xp =100.0 Rp =5002



Exemplo

Passo 3 – Associação em paralelo

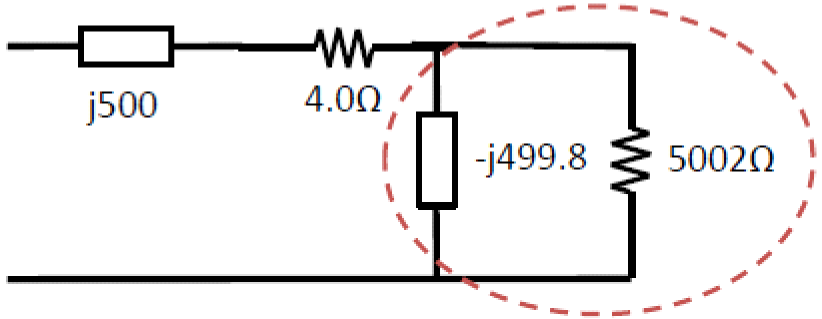


j100.(-j83.33)/(j100-j83.33) = -j499.8

Q2= 5002/499.8 = 10.00

Exemplo

Passo 4 – Segunda transformação

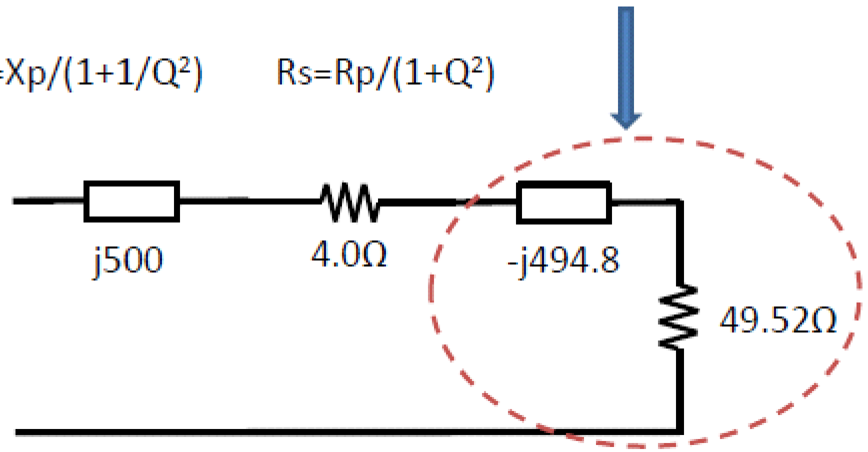


$Q2 = 10.00$

$R_p = 5002$

$X_p = 499.8$

$X_s = X_p/(1+1/Q^2)$ $R_s = R_p/(1+Q^2)$

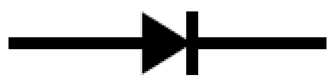


$Z = j500 + 4.0 - j494.8 + 49.52 =$ 53.52 + j5.2

Diodo

Dispositivo não linear - Diodo

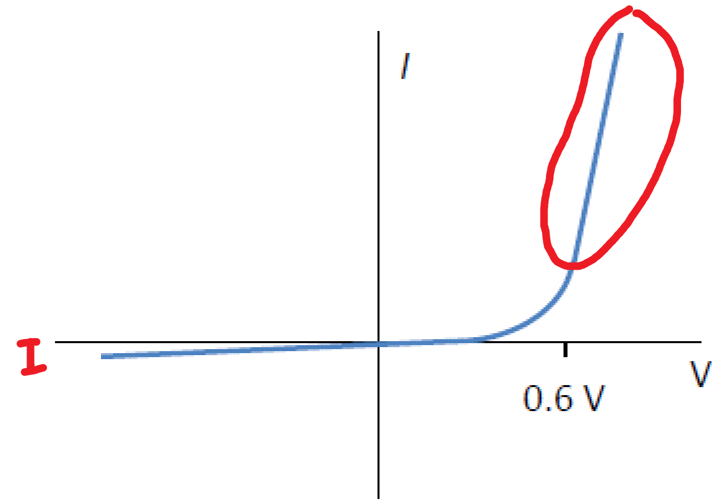
Semicondutor composto de uma junção PN

Anodo  Catodo

Relação exponencial entre tensão e corrente

$$I = I_s\left(e^{\frac{q \cdot V}{K \cdot T}} - 1\right)$$

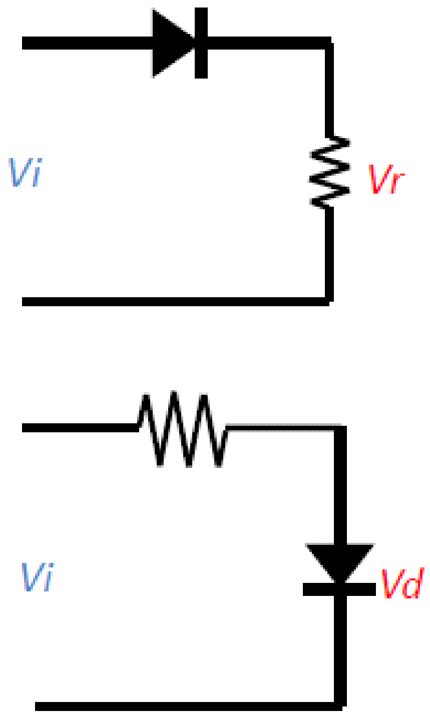
Para uma junção PN de silício a tensão de junção é de 0,6 ~ 0,7 volts

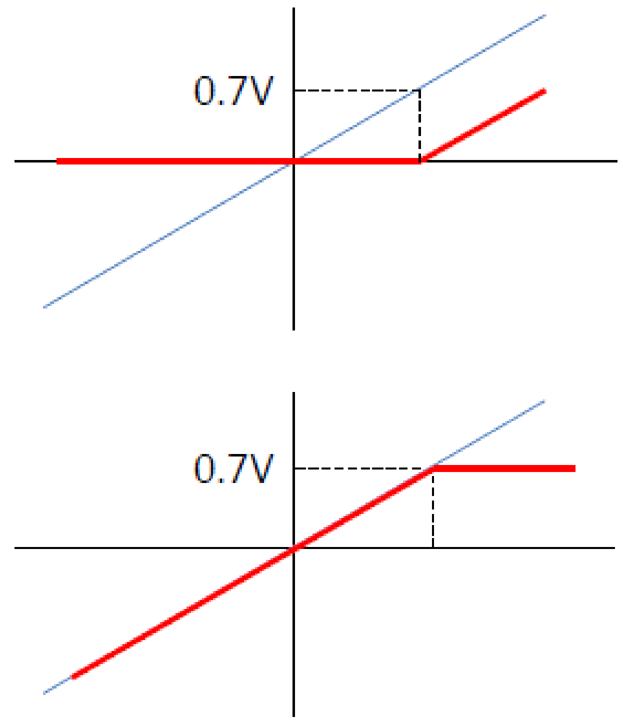


Consideração prática - o diodo conduz a uma tensão de 0,6 ~ 0,7 volts

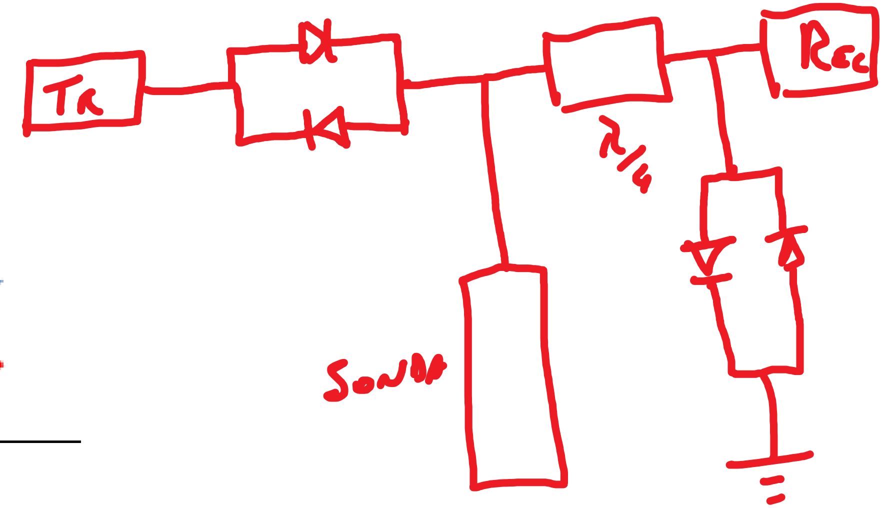
Circuitos limitadores I

Circuitos básicos com um diodo – circuitos limitadores

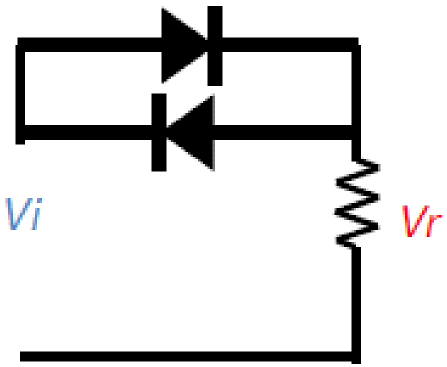


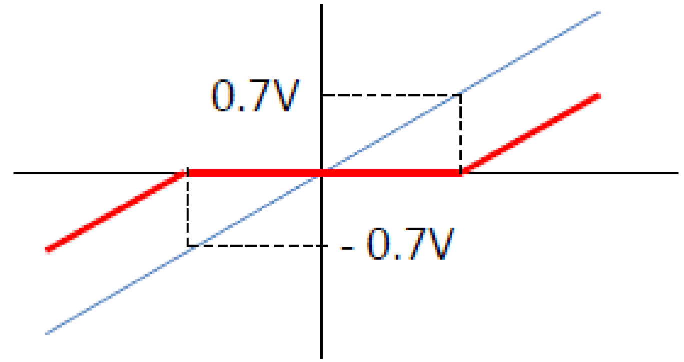


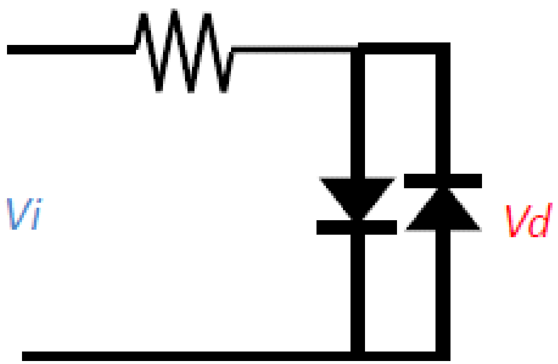
Circuitos limitadores II

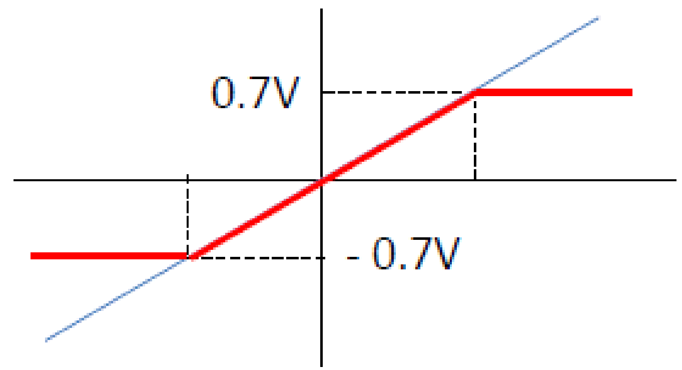


Circuitos básicos com diodos cruzados









Considerações práticas

Todo diodo semicondutor tem uma capacitância de junção intrínseca

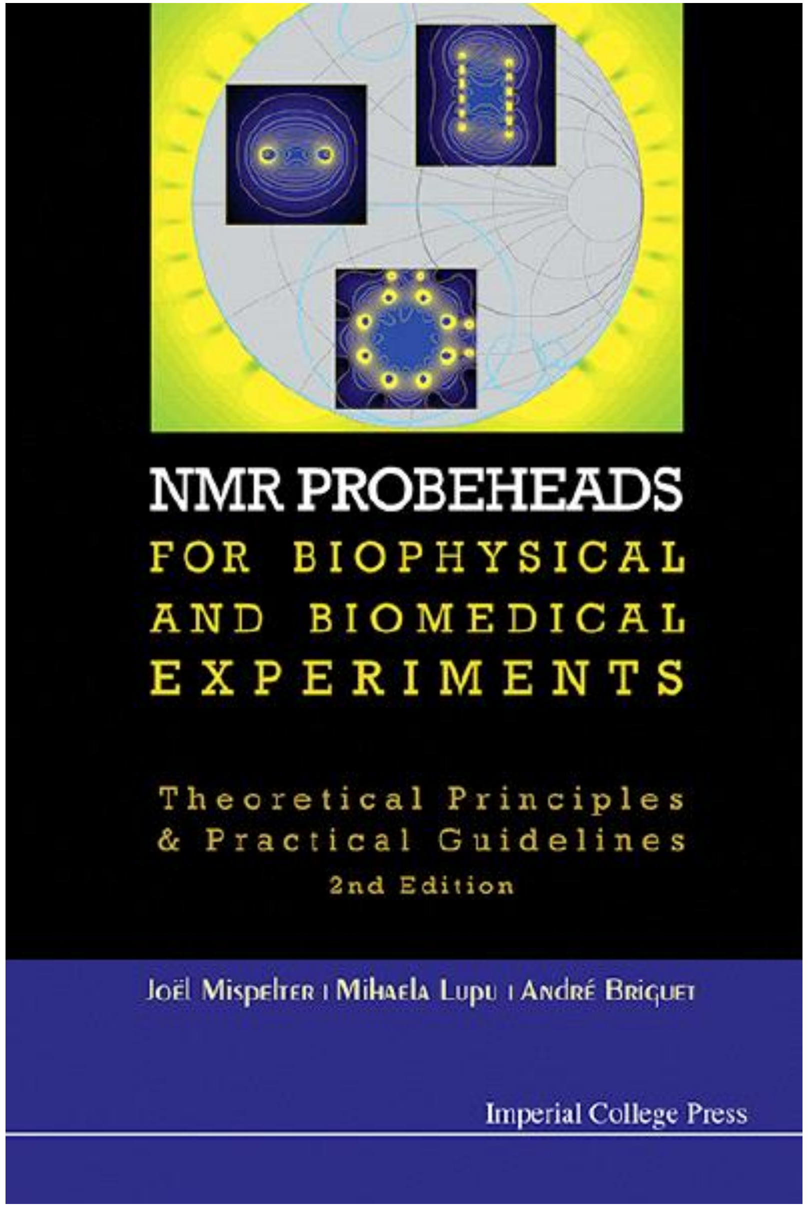
A capacitância de junção determina a frequência de operação do diodo

Diodos de sinal tipicamente operam com baixa corrente em altas frequência.

Diodos de potência tipicamente operam com alta corrente em baixas frequências.

Em RMN usa-se conjuntos diodos de sinal nos caminhos de RF.

Bibliografia



PHY 352K

Classical Electromagnetism

an upper-division undergraduate level lecture course given by

Richard Fitzpatrick

ASSISTANT PROFESSOR OF PHYSICS

The University of Texas at Austin

Fall 1997

Email: rfitzp@farside.ph.utexas.edu, Tel.: 512-471-9439
Homepage: http://farside.ph.utexas.edu/em1/em.html

- Dr. Edson Vidoto